جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و چهارم، تابستان ۱۳۹۹

صص ۱۶۳- ۱۴۵

DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v9i1.84249

مقاله پژوهشی

ارزیابی عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار دی‌اکسید کربن در ایران با تأکید بر نقش شهرنشینی؛ روش تحلیل تجزیه

ملیحه آشنا[1] - استادیار اقتصاد، دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائن، ایران

سعید حسین‌آبادی - استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائن، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۲/۲۲

چکیده

استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی در بخش‌های مختلف حمل‌ونقل، صنعت، مصرف خانگی، نیروگاه‌ها و... با انتشار آلاینده‌های متعدد در اتمسفر، بروز تبعات مختلفی را برای محیط زیست و سلامتی انسان به دنبال داشته است. در به وجود آمدن چنین شرایطی عوامل مختلفی از جمله صنعتی شدن جوامع، رشد اقتصادی، رشد جمعیت، رشد شهرنشینی، تغییر سبک زندگی و ... نقش دارند. شناخت عوامل مهم تاثیرگذار و تعیین سهم هرکدام می‌تواند در مواجهه بهتر با این معضل زیست‌محیطی کمک کند. ازاین‌رو هدف از پژوهش حاضر بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار دی‌اکسید کربن با تأکید بر دو عامل مهم تغییرات جمعیتی و شهرنشینی در ایران است. این تحقیق از نظر ماهیت روش، جزو تحقیقات کمی و از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، جزو تحقیقات کتابخانه‌ای محسوب می‌شود. داده‌های مورداستفاده در این تحقیق، آمار مربوط به میزان دی‌اکسید کربن هوا، مصرف انرژی، تعداد جمعیت و نرخ شهرنشینی بین سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ در کشور می‌باشد که از گزارش‌های مرکز آمار ایران استخراج شده است. برای تحلیل داده‌ها از مدل محاسباتی تحلیل تجزیه استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد هم جمعیت و هم شهرنشینی بر افزایش مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن هوا نقش مهم داشته است.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، انرژی، دی‌اکسید کربن، شهرنشینی، ایران.

۱ نویسنده مسئول:۰۵۶۳۶۱۰۰۶۸۶۱ Email: Ashena@buqaen.ac.ir

۱- مقدمه

پیشرفت اقتصادی در سرتاسر جهان به تغییرات مختلفی منجر شده است؛ به‌عنوان مثال صدها میلیون شغل ایجاد شده، پیشرفت در پشتیبانی از زندگی و سلامتی، دسترسی به کالاها و طیف گسترده‌ای از غذاها و غیره که به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور قابل‌توجه است. اساس همه این پیشرفت‌ها در صنعتی شدن، جهانی‌سازی، گسترش بازار و غیره، بخش انرژی است و مصرف انرژی تأثیرات عمیقی بر رشد اقتصادی جوامع داشته است (آوتار و همکاران[1]، ۲۰۱۹). نیاز به انرژی برای فعالیت‌های اقتصادی و نیازهای جمعیت رو به افزایش باعث افزایش مصرف آن در سال‌های اخیر شده است. به‌طوری‌که بر اساس گزارش بانک جهانی سال ۲۰۱٤ سرانه انتشار گاز دی‌اکسید کربن در جهان ۵ متریک تن و میزان رشد انتشار این گاز طی سال‌های ۲۰۱٤-۱۹۹۰ حدود ۱۹ درصد بوده است (بانک جهانی[2]، ۲۰۱٤). سرانه انتشار دی‌اکسید کربن برای ایران در سال ۲۰۱٤ برابر ۸٫٤ متریک تن بوده است و رشد انتشار آن طی ۲۰۱٤-۱۹۹۰ حدود ۱۲۷ درصد بوده یعنی بیش از دو برابر رشد داشته است (بانک جهانی، ۲۰۱٤). این موضوع نشان‌دهنده سطح نامطلوب میزان انتشار و شرایط نامناسب محیط زیست به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل رسیدن به توسعه پایدار است (لطفعلی پور و همکاران، ۱۳۹۱).

مصرف انرژی گرچه لازمه پیشرفت اقتصادی جوامع است ولی مصرف رو به افزایش آن معضلات زیست‌محیطی را نیز در پی داشته است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها آلودگی هوا به دلیل انتشار و نشت گازهای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی است (نصرالهی و غفاری گولک، ۱۳۸۹). طبق تعریف استاندارد کیفیت هوا، وجود و پخش یک یا چند آلاینده اعم از جامد، مایع، گاز، تشعشع پرتوزا و غیر پرتوزا در هوای آزاد به مقدار و مدتی که کیفیت هوا را برای انسان و محیط زیست زیان‌آور کند آلودگی هوا نامیده می‌شود. مونواکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌ها، اکسیدهای گوگرد، دی‌اکسید کربن، ذرات معلق در هوا و ازن، مهم‌ترین آلاینده‌های هوا هستند. از میان گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن مهم‌ترین آن‌هاست. حدود ٦۰ درصد از آثار گلخانه‌ای ناشی از فعالیت بشر، به انتشار دی‌اکسید کربن مربوط می‌شود. در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در این زمینه میزان انتشار این گاز به‌عنوان معیاری برای بیان آلودگی هوا به کار رفته است. (فطرس و برزگر، ۱۳۹۲).

آلودگی هوا تهدید عمده‌ای برای سلامتی و آب‌وهوا است و تغییر آب‌وهوا و گرم شده کره زمین را به همراه داشته است؛ که این گرم شدن هم باعث بروز بلایای شدید آب و هوایی شده و هم توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی را به مخاطره انداخته است. در گزارشی توسط هیئت بین‌المللی برای تغییرات آب و هوایی[3](IPCC)

1 Avtar et al.
2 World Bank
3 Intergovernmental Panel on Climate Change

خاطرنشان شده است که افزایش انتشار دی‌اکسید کربن (CO_2) ناشی از مصرف انرژی فسیلی عامل اصلی تغییرات جهانی آب‌وهواست (فن و لی[1]، ۲۰۱۷).

عوامل مختلفی بر میزان مصرف انرژی و به‌تبع آن ایجاد آلودگی هوا مؤثر است (وانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۷). از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

الف) رشد جمعیت

بحث پیرامون رشد جمعیت، رشد اقتصادی و محیط زیست، میان طرفداران بدبین و خوش‌بین رشد جمعیت تفکیک شده است. دیدگاه بدبینانه نسبت به اثر رشد جمعیت بر افزایش تقاضا برای کالاها و خدمات ناشی از چنین رشدی تأکید دارد (آجایی، ۱۳۸۱). با افزایش تعداد جمعیت در سراسر جهان، تقاضا برای مواد غذایی و کالاهای دیگر بالا می‌رود. این تقاضا با تولید گسترده و استفاده از منابع طبیعی برآورد می‌شود که به‌نوبه خود منجر به آلودگی بیشتر می‌شود (نظیر و همکاران[3]، ۲۰۱۸). از طرف دیگر رشد جمعیت ممکن است بازخورد مثبتی داشته باشد. به این ترتیب که افراد به پذیرش نوآوری‌های فنی (مثل انقلاب سبز) تشویق شوند. به‌علاوه، با رشد جمعیت، نیروی کار افزایش‌یافته و به افزایش تولید کالاها و خدمات منجر می‌شود. البته، احتمالاً آثار مثبت توسط آثار منفی خنثی شده و به اثر خالص منفی می‌انجامد (آجایی، ۱۳۸۱).

ب) رشد اقتصادی و آلودگی هوا

بر اساس مطالعات قبلی یک رابطه علیت بین درآمد و مصرف انرژی و انتشار آلاینده وجود دارد. رشد اقتصادی ارتباط نزدیکی با مصرف انرژی دارد، زیرا رشد اقتصادی بالاتر، به مصرف انرژی بیشتری نیاز دارد و مصرف انرژی کارآمدتر به سطح بالاتری از رشد اقتصادی نیاز دارد. درنتیجه، ممکن است جهت علیت از قبل مشخص نشود (لیانگ و یانگ[4]، ۲۰۱۹)؛ بنابراین تأثیر رشد اقتصادی بر کیفیت محیط زیست می‌تواند به‌صورت مستقیم، معکوس یا ترکیبی از هر دو باشد (نصرالهی و غفاری، ۱۳۸۹). در رویکرد اول رشد اقتصادی به انرژی متکی است و گسترش مقیاس اقتصادی با افزایش مصرف انرژی از جمله مصرف انرژیهای آلاینده همراه است (لیانگ و یانگ، ۲۰۱۹). سطوح بالاتر فعالیت اقتصادی (تولید یا مصرف) نیازمند انرژی و مواد اولیه بیشتری است و در نتیجه مقادیر بیشتری از مواد زائد فرعی ایجاد می‌شود. در دیدگاه دوم کسانی هستند که معتقدند سریع‌ترین راه برای بهبود کیفیت محیط زیست از طریق بهبود رشد اقتصادی امکان‌پذیر است؛ زیرا سطوح بالاتری از درآمد باعث افزایش تقاضا برای کالایی می‌شود که مواد اولیه کمتری استفاده می‌کند و نیز اینکه افزایش درآمد باعث افزایش تقاضا برای محیط زیست باکیفیت‌تر می‌شود

1 Fan and lei
2 Wang et al.
3 Nazeer et al.
4 Liang&Yang

و این به معنای پذیرش معیارها و ضوابط زیست‌محیطی است (نصرالهی و غفاری، ۱۳۸۹). رویکرد سوم که با بهره‌گیری از نظریه منحنی کوزنتس و استفاده از آن در مباحث زیست‌محیطی به منحنی زیست‌محیطی کوزنتس مشهور است به جای در نظر گرفتن یک رابطه خطی (مستقیم یا معکوس) یک رابطه منحنی شکل را بین سطح توسعه اقتصادی کشورها و میزان آلودگی محیط زیست در نظر گرفته است. در این مدل که به شکل منحنی U معکوس است؛ یک نقطه عطف بین رشد اقتصادی و آلودگی محیط زیست وجود دارد. سطح آلودگی محیط زیست با رشد اقتصادی بالا می‌رود. بااین‌حال، هنگامی‌که درآمد سرانه از یک سطح معین (نقطه انفجار) فراتر رود، با رشد اقتصادی، محیط زیست نیز بهبود می‌یابد (لیانگ و یانگ، ۲۰۱۹).

ج) شهرنشینی

به‌طور کلی شهرنشینی دارای دو خصیصه اصلی است: اول: مهاجرت مردم از حوزه‌های روستایی به شهری، جهت اشتغال در فعالیت‌ها و مشاغل غیر کشاورزی و دوم: دگرگونی در سبک زندگی مردم، از سبک زندگی روستایی به شهری، به همراه تغییر در ارزش‌ها و نگرش‌ها که رفتارهای تازه‌ای را سبب می‌شود. با این حال برای تعیین میزان شهرنشین بودن عمدتاً از ملاک جمعیتی استفاده می‌شود. به‌طوری‌که از نظر مرکز آمار ایران میزان شهرنشینی، نسبت جمعیت ساکن در نقاط شهری به کل جمعیت است که به‌صورت درصد بیان می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). در عصر ما شهرها کانون اصلی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی هستند. تمام مراکز توسعه اقتصادی مانند امور مالی، ارتباطات و حمل‌ونقل در شهرها واقع شده‌اند و سهم قابل‌توجهی از مصرف انرژی در شهرها اتفاق می‌افتد بنابراین، شهرنشینی یکی از عناصر اصلی در برآورد انتشار کربن آینده در جهان به حساب می‌آید. در رابطه با تأثیر شهرنشینی بر آلودگی نظرات متفاوت وجود دارد (گاسیملی[1]،۲۰۱۹).

اول: شهرنشینی عامل افزایش آلودگی هوا: در این دیدگاه شهرنشینی عاملی برای افزایش مصرف انرژی و انتشار گازهای کربن پنداشته می‌شود. مصرف سوختهای رایج در ارتباط با توسعه شهری عاملی اساسی در انتشار دی‌اکسید کربن است. همچنین، وو همکاران[2] (۲۰۰۵) نشان داده‌اند که فرایند شهرنشینی و مصرف بیشتر انرژی، باعث افزایش سطح انتشار کربن در محیط می‌شود. مصرف انرژی کل و انتشار گازهای گلخانه‌ای با فرایند شهرنشینی ارتباط مثبت دارد. جامعه شهری غالباً سعی در مصرف کالاهایی با انرژی‌بری بالا دارند؛ بنابراین، شیوه‌های زندگی مدرن شهری منجر به افزایش مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی و درنتیجه منجر به گرم شدن کره زمین و تغییر اوضاع می‌شود. در همین زمینه آژانس بین‌المللی انرژی گزارش داد که مناطق شهری در سطح جهان مسئول ۷۱٪ از انتشار کربن در سراسر جهان هستند (گاسیملی،۲۰۱۹)؛ بنابراین، در این دیدگاه شهرنشینی باعث استفاده بیشتر از

1 Gasimli
2 Wu et al.

انرژی و سوزاندن سوخت‌های فسیلی از طریق صنعتی شدن سریع، مکانیزه کردن فرایندهای کشاورزی و حمل‌ونقل مواد غذایی و لوازم به داخل شهرها می‌شود (سلیم و همکاران[1]، ۲۰۱۷).

دوم: رابطه منفی بین شهرنشینی و آلودگی هوا: شواهدی وجود دارد که رابطه منفی بین شهرنشینی و انتشار گازهای کربن وجود دارد. به این دلیل شهرنشینی به‌عنوان یک عامل اصیل برای بهبود کیفیت محیط زیست به دلیل بهره‌وری بالا در مصرف منابع معرفی می‌شود؛ بنابراین، شهرنشینی ممکن است تخریب محیط زیست را کاهش دهد (گاسیملی،۲۰۱۹).

سوم: اثر متفاوت شهرنشینی در اقتصادهای توسعه‌یافته و توسعه‌نیافته: برخی مطالعات به اثر متفاوت شهرنشینی بر محیط زیست در اقتصادهای در حال توسعه و توسعه‌یافته اشاره کرده‌اند. تأثیر شهرنشینی بر محیط زیست با سطح توسعه متفاوت است. مطالعات متعددی رابطه مثبت و برخی رابطه منفی را بین شهرنشینی و انتشار گازهای کربن مشاهده کرده‌اند (گاسیملی،۲۰۱۹).

چهارم: اثر متفاوت شهرنشینی بر مصرف انرژی و آلودگی با توجه به الگوهای شهرسازی متفاوت: اشکال مختلف ساختار فضایی شهری نتایج متفاوتی در ارتباط با آلودگی هوای شهر دارند. مسافرت افرادی که در مناطق شهری با تراکم بالا زندگی می‌کنند نسبت به ساکنان سکونتگاه‌های پراکنده‌تر کمتر می‌باشد. شهرهای با تراکم بالاتر حمل‌ونقل عمومی را کارآمدتر می‌سازند درحالی‌که در شهرهای پراکنده، پراکندگی مقاصد، بر میزان تردد با اتومبیل شخصی می‌افزاید (قدمی و عبداله وند،۱۳۹۷). در همین راستا برخی اعتقاد دارند که الگوی شهر فشرده در مقابل شهرهای پراکنده انرژی کمتری مصرف نموده و به‌تبع آن آلودگی هوا نیز کاهش می‌یابد؛ بنابراین ممکن است دو کشور نرخ و روند مشابهی در شهرنشینی داشته باشند اما الگوی غالب فرم شهری شهرهای یکی از آن‌ها فشرده و دیگری پراکنده باشد و درنتیجه مصرف انرژی و کیفیت هوا در نواحی شهری آنان متفاوت باشد.

بر اساس دیدگاه‌های بیان‌شده در بالا نمی‌توان رابطه بین شهرنشینی و آلودگی هوا را یک رابطه ساده انگاشت و در شرایط مختلف تکنولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و برنامه‌ریزی، اثر شهرنشینی می‌تواند متفاوت باشد.

مطالعات بسیاری روش‌های تحلیل تجزیه را برای بررسی مصرف انرژی یا شدت انرژی به کار برده‌اند. گروسمن و کروگر[2] (۱۹۹۲) آثار زیست‌محیطی تجارت آزاد آمریکای شمالی (NAFTA)[3] را از جنبه تغییر در انتشار آلودگی به اثر مقیاس، ترکیب و تکنیک تجزیه کردند. ضریب آلودگی (نسبت آلودگی به تولید)، شدت انرژی (نسبت انرژی به تولید)، ساختار اقتصاد یا سهم تولیدی بخش‌ها در تولید کل اقتصاد و رشد اقتصادی (GDP)[4] به‌عنوان اجزای

1 Salim et al.
2 Grossman and Krueger
3 North American Free Trade Agreement
4 Gross domestic production

اصلی تحلیل تجزیه در نظر گرفته شده است. نگ و پاریخ[1] (۲۰۰۰) با استفاده از روش تجزیه‌ای شاخص نشان دادند که اثر درآمدی مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده افزایش انتشار سرانه در هند می‌باشد.

همچنین مطالعات زانگ و انگ[2] (۲۰۰۱)، پل و باتاچریا[3] (۲۰۰٤)، لی و اوه[4] (۲۰۰٦)، لیاسکس و همکاران[5] (۲۰۰۰)، وانگ و همکاران[6] (۲۰۱۳) برای تجزیه شدت انرژی و آثار زیست‌محیطی آن با روش تحلیل تجزیه انجام شده است.

سری و سویتاس[7] (۲۰۰٤) روش تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی را برای تعیین رابطه مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ترکیه به کار برده‌اند. ویتز[8] (۲۰۰٦) با استفاده از روش IDA به بررسی انتشار کربن و عوامل مؤثر بر آن در ترکیه پرداخته است.

مطالعات نسبتاً زیادی برای تجزیه‌وتحلیل مصرف انرژی و انتشار CO_2 در چین انجام‌شده است. فن و همکاران[9] (۲۰۰۷) تغییرات شدت کربن را بر اساس شاخص متوسط حسابی (AMDI)[10] تحلیل نمودند. روش تحلیل ساختاری برای بررسی عوامل انتشار CO_2 در چین طی ۱۹۸۰–۲۰۳۰ توسط گان و همکاران[11] (۲۰۰۸) به کار برده شده است. بر اساس شاخص متوسط لگاریتمی (LMDI)[12] سری زمانی، لیو و همکاران[13] (۲۰۰۷) تغییر انتشار کربن ۳٦ بخش صنعتی طی ۱۹۹۸–۲۰۰۵ را بررسی کرده‌اند. وانگ و همکاران[14] (۲۰۰۵) روش LMDI را برای انتشار CO_2 مرتبط با انرژی به کار برده‌اند. وو و همکاران[15] (۲۰۰۵) تغییر انتشار CO_2 مرتبط با انرژی را طی دوره ۱۹۸۵–۱۹۹۹ با استفاده از روش تجزیه‌ای شاخص موردبررسی قرار دادند. انگ و همکاران[16] (۲۰۱۵) بر اساس شاخص لگاریتمی، کارایی انرژی کشورهای صنعتی را موردبررسی قرار دادند.

تغییرات انتشار CO_2 در ایران از نظر چهار عامل اصلی شدت انرژی، ضریب آلودگی، تغییرات ساختاری و فعالیت اقتصادی توسط لطفعلی‌پور و آشنا (۱۳۸۹) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. نتایج بیان می‌کند که

1 Nag and Parikh.
2 Zhang & Ang
3 Paul & Bhattacharya
4 Lee and Oh.
5 Liaskas et al.
6 Wang et al.
7 Sari and Soytas.
8 Wietze.
9 Fan et al.
10 Arithmetic Mean Divisia Index.
11 Guan et al.
12 Logarithmic Mean Divisia Index.
13 Liu et al.
14 Wang et al.
15 Wu et al.
16 Ang

مهم‌ترین عامل افزایش انتشار CO_2، رشد اقتصادی (اثر مقیاس) است و ساختار اقتصادی به میزان کمتری در افزایش انتشار کربن مؤثر است.

فطرس و براتی (۱۳۹۰) نیز از تحلیل تجزیه شاخص IDA استفاده کرده و نشان دادند که رشد اقتصادی بزرگ‌ترین اثر مثبت را بر تغییرات انتشار CO_2 در تمام بخش‌های اقتصادی به‌جز بخش صنعت و حمل‌ونقل و در کل اقتصاد داشته است.

فریدزاد (۱۳۹٤) شدت انرژی در صنایع انرژی بر را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده است و بیان می‌کند که اثر شدت انرژی بیشترین اثر را بر افزایش انتشار کربن دارد.

به دلیل گستردگی تبعات آلودگی هوا در مقیاس‌های محلی تا سیاره‌ای، شناخت عوامل تأثیرگذار بر آلودگی و انتشار گازهای آلاینده از جمله دی‌اکسید کربن و مشخص نمودن سهم هرکدام از آن‌ها می‌تواند راهنمایی برای مدیریت زیست‌محیطی در هر کشوری باشد. از این‌رو این پژوهش به دنبال بررسی و تحلیل میزان سهم و تأثیرگذاری عوامل مؤثر بر گسترش آلودگی هوا در ایران است. معیار آلودگی هوا نیز میزان انتشار گاز CO_2 –به عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای – در نظر گرفته می‌شود و سعی می‌شود سهم عواملی چون تغییر جمعیت، رشد شهرنشینی و مصرف انرژی در میزان انتشارCO_2 در کشور طی دوره ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۵ موردبررسی و تحلیل قرار گیرد.

در این مطالعه با استفاده از روش تحلیل تجزیه کامل، عوامل اثرگذار بر تغییرات انتشار CO_2 در بخش‌های مختلف تعیین می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر، سهم عواملی که انتشار CO_2 مرتبط با انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد تعیین می‌شود. نوآوری این تحقیق در این است که عامل رشد شهرنشینی به‌عنوان یکی از عوامل مهم در تغییرات مصرف انرژی و انتشار CO_2 موردبررسی قرار می‌گیرد. پژوهش حاضر در پی پاسخ به سؤالات زیر است:

– متغیرهای رشد جمعیتی، نرخ شهرنشینی و مصرف انرژی تا چه حد تبیین‌کننده افزایش آلودگی هوا در ایران هستند؟ کدام عامل نقش مهم‌تری دارد؟

– آیا میزان نقش‌آفرینی این عوامل در طی سال‌های مختلف تغییر پیدا کرده است؟

۲– منطقه مورد مطالعه

محدوده جغرافیایی مورد مطالعه در این پژوهش، کشور ایران است و این تحقیق به مطالعه سهم عوامل مختلف تاثیرگذار بر انتشار دی اکسید کربن در کشور بین سالهای ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۵ می‌پردازد.

۳- مواد و روشها

این تحقیق از تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای محسوب می‌شود و از نظر ماهیت روش، جزو تحقیقات کمی و از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، جزو تحقیقات کتابخانه‌ای است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق آمار مربوط به میزان دی‌اکسید کربن هوا، انرژی، میزان جمعیت و نرخ شهرنشینی بین سال‌های ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۵ می‌باشد که از ترازنامه انرژی، وسالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران استخراج شده است.

برای تحلیل سهم عوامل مؤثر بر مصرف انرژی و آلودگی‌های ناشی از آن مدل‌های مختلفی توسط پژوهشگران مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. اولین مدل برای تحلیل عوامل اصلی تخریب محیط زیست مدل IPAT است. این مدل به‌عنوان چارچوبی برای تحلیل عوامل مؤثر تغییر زیست‌محیطی مشخص می‌کند که اثر مخرب بر محیط زیست (I) حاصل‌ضرب سه عامل جمعیت (P)، رونق اقتصادی و به عبارت دیگر سطح تولید یا مصرف سرانه (A) و تکنولوژی و به عبارت دیگر اثر حاصل از هر واحد فعالیت اقتصادی تولید و مصرف (T) می‌باشد (یورک و روسا[۱]،۲۰۰۳)

در مطالعات بعدی مفهوم IPAT با IMPACT جایگزین شد. در این مدل (IMPACT) تکنولوژی به دو بخش تقسیم شد؛ عبارت تکنولوژی (T) و نیز عبارت دیگری به مفهوم مصرف هر واحد انرژی نسبت به GDP (C). به‌عنوان مثال در تحلیل انتشار آلاینده دی‌اکسید کربن، این مدل نشان می‌دهد انتشار کل حاصل‌ضرب جمعیت (P)، تولید ناخالص داخلی (A)، مصرف انرژی نسبت به هر واحد GDP (C) و تکنولوژی (T)، به مفهوم انتشار CO_2 به ازای هر واحد GDP، می‌باشد (لی و همکاران[۲]، ۲۰۱۵).

روش‌های بررسی عوامل اثرگذار بر انتشار کربن، به دو طبقه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند؛ روش تجزیه و روش اقتصادسنجی. در مقایسه با روش اقتصادسنجی، روش تجزیه داده‌های اصلی را بهتر بررسی کرده و می‌تواند روند واقعی‌تر انتشار کربن را منعکس کند (فن و لی[۳]، ۲۰۱۷).

در مطالعات پیشین دو روش تجزیه به نام تحلیل تجزیه ساختاری (SDA)[٤] و تحلیل تجزیه شاخص (IDA)[٥] برای بررسی عوامل مؤثر بر تغییر یک متغیر به کار رفته است (چنگ و همکاران[٦] (۲۰۰۸)، انگ و زانگ (۲۰۰۰)). روش تجزیه شاخص به‌عنوان روش سنتی شناخته شده است و مشکل این روش وجود خطا در نتایج می‌باشد که نتایج را کمتر یا بیشتر از حد برآورد می‌کند (لطفعلی پور و آشنا، ۱۳۸۹).

1 York and Rossa
2 Li et al.
3 Fan and Lei
4 Structural Decomposition Analysis.
5 Index Decomposition Analysis.
6 Chang et al.

هر تحلیل تجزیه می‌تواند به شیوه دوره‌ای یا سری زمانی مورد استفاده قرار گیرد. یک تحلیل دوره‌ای، شاخص‌های بین اولین و آخرین سال یک دوره زمانی برای یک کشور را مقایسه می‌کند. یک تحلیل سری زمانی شامل تجزیه سالانه است و نشان می‌دهد چگونه آثار عوامل توضیحی از پیش تعیین شده طی زمان تکامل می‌یابند. روش تجزیه کامل می‌تواند با توجه به تساوی زیر به دست آید (لطفعلی پور و آشنا، ۱۳۸۹).

$$A = \prod_{i=0}^{n} x_i \qquad (۱)$$

در فضای n بعدی یک جزء (A) می‌تواند به‌صورت زیر به n عامل (که در اینجا با x نشان داده‌شده است) تجزیه شود. در دوره [0,T] A از A^0 تا A^t تغییر می‌کند:

$$\Delta A = A^t - A^0 = \prod_{i=1}^{n} x_i^t - \prod_{i=0}^{n} x_i^0 = \sum_{i=1}^{n} x_{i-effect} \qquad (۲)$$

مطابق تجزیه لاسپیرز، سهم عامل x_i در تغییر کلی A برابر است با:

$$x_{i-effect} = \frac{\prod_{k=1}^{n} x_k}{x_i} \Delta x_i \qquad (۳)$$

به طوری که Δx_i تغییر عامل i ام و $x_t^i = x_i^0 + \Delta x_i$ در دوره [0,T] می‌باشد. روش تجزیه لاسپیرز تنها یک تجزیه تقریبی را به دست می‌دهد. زیرا تعداد $2^n - 1$ عبارت در طرف چپ تساوی و تنها n عبارت در طرف راست تساوی (۱) وجود دارد که در آن $2^n - 1 - n$ عبارت با درجه تفاضل ۲ یا بیشتر حذف شده‌اند. این روش توسط تحلیل تجزیه کامل اصلاح شده است. بنابراین، سهم عامل x_i در تغییر کل A برابر است با:

$$x_{i-effect} = \frac{\prod_{k=1}^{n} x_k}{x_i} \Delta x_i + \frac{1}{2} \sum_{i \neq p} \frac{\prod_{k=1}^{n} x_k}{x_i x_p} \Delta x_i \Delta x_p + \frac{1}{3} \sum_{i \neq p \neq q} \frac{\prod_{k=1}^{n} x_k}{x_i x_p x_q} \Delta x_i \Delta x_p \Delta x_q + \ldots + \frac{\prod_{k=1}^{n} \Delta x_k}{n} \qquad (٤)$$

برای انجام این مطالعه باید عوامل مختلفی که باعث تغییر انتشار کربن می‌شود در نظر گرفته شود. انتشار کل می‌تواند مطابق روش IMPACT که در بخش قبل بیان شده تجزیه‌وتحلیل شود. با حذف عبارت رونق اقتصادی (تولید) می‌توان آثار جمعیتی را در این رابطه موردمطالعه را وارد نمود و آثار فعالیت و تولید اقتصادی را به‌طور مستقیم به جمعیت و مصرف انرژی آن‌ها ارتباط داد. در این بررسی جمعیت به دو بخش تقسیم می‌شود شامل جمعیت کل و نرخ شهرنشینی؛ بنابراین، در این تحلیل ٤ عامل به نام اثر ضریب آلودگی، اثر شدت انرژی، اثر ساختار جمعیت و اثر جمعیت انتخاب شده است.

$$CE_t = \frac{CE_t}{E_t} \times \frac{E_t}{U_t} \times \frac{U_t}{POP_t} \times POP_t = CI_t . EI_t . UI_t . PE \qquad (٥)$$

به‌طوری‌که CE_t انتشار کل CO_2 در زمان t، POP_t کل جمعیت، U_t نرخ شهرنشینی، E_t کل مصرف انرژی در زمان t است و CI اثر ضریب آلودگی، EI اثر شدت انرژی، UI اثر ساختار شهری یا شهرنشینی، PE اثر جمعیت است.

تغییر انتشار CO_2 بین سال صفر و سال هدف (t) با ΔCE نشان داده می‌شود و می‌تواند بـه ٤ عامـل تجزیـه شود.

$$\Delta CE = CE^t - CE^0 = CI + EI + UI + PE \quad (٦)$$

به طوری که Δ تفاضل در فاصله زمانی [0,t] است.

– اثر ضریب آلودگی: این اثر با نرخ انتشار دی‌اکسید کربن و مصرف انرژی تعیین می‌شـود و بـه‌عنوان شـدت انتشار دی‌اکسید کربن نامیده می‌شود. این متغیر کیفیت سـوخت، تغییـر سـوخت (جـایگزینی سـوخت) و نصـب فنّاوری‌های کاهش آلودگی را ارزیابی می‌کند. همچنین به‌عنوان شاخص ایجاد کربن شناخته‌شده است.

– اثر شدت انرژی خانوار شهری: این اثر توسط نرخ مصرف انرژی و جمعیت مشخص می‌شود و میزان مصرف انرژی هر نفر از جمعیت شهری را بیان می‌کند. این مصرف انرژی نیز بیشتر به برخی متغیرها مانند ساختار اقتصادی و شهری، کارایی حمل‌ونقل و سیستم‌های انرژی در شـهر، فنّاوری‌هـای کـاربرد انـرژی، قیمـت انـرژی، سیاسـت صرفه‌جویی انرژی و سرمایه‌گذاری جهت کاهش مصرف انرژی مرتبط می‌شود.

– اثر شهرنشینی: این اثر با نسبت شهرنشینی به جمعیت مشخص می‌شود. این ضریب موقعیت نسبی جمعیـت شهری و روستایی را در یک اقتصاد اندازه می‌گیرد و با تحول ساختار شهرنشینی تغییر می‌کند.

– اثر جمعیت کل: این اثر با اندازه جمعیت کل در یک اقتصاد بیان می‌شود.

سون[1] (۱۹۹۸) روش تجزیه کامل را به کار برده است که نوآوری اساسی این روش این است که جمله اخلال را مطابق اصل توزیع برابر تقسیم می‌کند. مطابق این مدل هر اثر طرف راسـت تسـاوی (۸) می‌توانـد به‌صـورت زیـر محاسبه شود:

$$\begin{aligned} CI = & \sum_i \Delta CI_i \times EI^0 \times UI^0 \times PE^0 + \frac{1}{2}\sum_i \Delta CI_i (\Delta EI_i \times UI^0 \times PE^0 + EI^0 \times \Delta UI_i \times PE^0 \\ & + EI^0 \times UI^0 \times \Delta PE) + \frac{1}{3}\sum_i \Delta CI_i (\Delta EI_i \times \Delta UI \times PE^0 + \Delta EI_i \times UI^0 \times \Delta PE \\ & + EI^0 \times \Delta UI_i \times \Delta PE) + \frac{1}{4}\sum_i \Delta CI_i \times \Delta EI_i \times \Delta UI_i \times \Delta PE \end{aligned} \quad (۷)$$

1 Sun

$$EI=\sum_i CI^0\times\Delta EI_i\times UI^0\times PE^0+\frac{1}{2}\sum_i\Delta EI_i(\Delta CI_i\times UI^0\times PE^0+CI^0\times\Delta UI_i\times PE^0$$
$$+CI^0\times UI^0\times\Delta PE)+\frac{1}{3}\sum_i\Delta EI_i(\Delta CI_i\times\Delta UI\times PE^0+\Delta CI_i\times UI^0\times\Delta PE$$
$$+CI^0\times\Delta UI_i\times\Delta PE)+\frac{1}{4}\sum_i\Delta CI_i\times\Delta EI_i\times\Delta UI_i\times\Delta PE \qquad (۸)$$

$$UI=\sum_i CI^0\times EI^0\times\Delta UI_i\times PE^0+\frac{1}{2}\sum_i\Delta UI_i(\Delta CI_i\times EI^0\times PE^0+CI^0\times\Delta EI_i\times PE^0$$
$$+CI^0\times EI^0\times\Delta PE)+\frac{1}{3}\sum_i\Delta UI_i(\Delta CI_i\times\Delta EI\times PE^0+\Delta CI_i\times EI^0\times\Delta PE$$
$$+CI^0\times\Delta EI_i\times\Delta PE)+\frac{1}{4}\sum_i\Delta CI_i\times\Delta EI_i\times\Delta UI_i\times\Delta PE \qquad (۹)$$

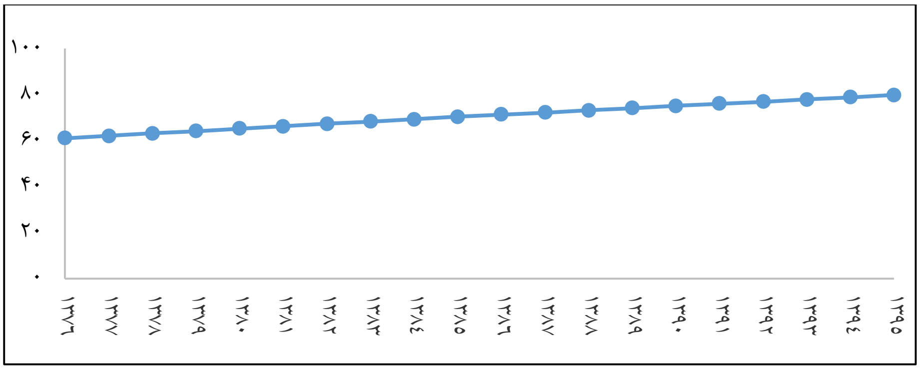
$$PE=\sum_i CI^0\times EI^0\times UI^0{}_i\times\Delta PE_i+\frac{1}{2}\sum_i\Delta PE_i(\Delta CI_i\times EI^0\times UI^0+CI^0\times\Delta EI_i\times UI^0$$
$$+CI^0\times EI^0\times\Delta UI)+\frac{1}{3}\sum_i\Delta PE_i(\Delta CI_i\times\Delta EI\times UI^0+\Delta CI_i\times EI^0\times\Delta UI$$
$$+CI^0\times\Delta EI_i\times\Delta UI)+\frac{1}{4}\sum_i\Delta CI_i\times\Delta EI_i\times\Delta UI_i\times\Delta PE \qquad (۱۰)$$

٤- نتایج و بحث

با توجه به دسترسی داده‌ها دوره زمانی ۱۳۷٦–۱۳۹۵ در این تحقیق در نظر گرفته‌شده است. به منظور بررسی بهتر تغییر روند عوامل در ارتباط با زمان، دوره زمانی به سه فاصله زمـانی ۱۳۷٦–۱۳۸۰، ۱۳۸۱–۱۳۸۵ و ۱۳۹۰–۱۳۸٦ و ۱۳۹۱–۱۳۹۵ تقسیم‌شده است.

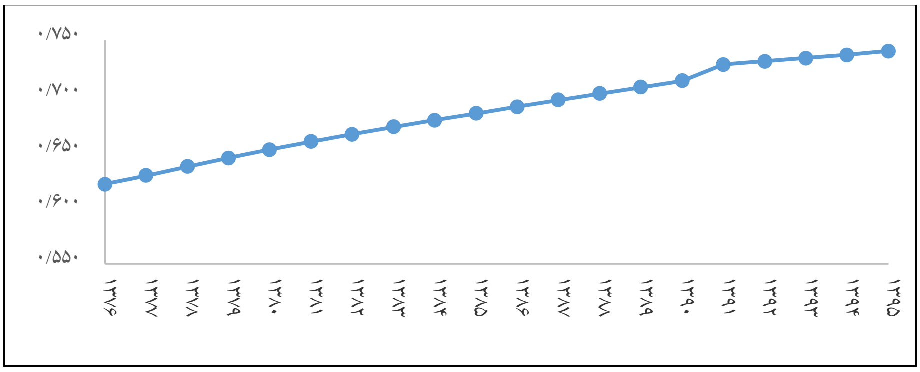
٤-۱- بررسی روند تغییر متغیرها

شکل (۱) و شکل (۲) روند رشد جمعیت و شهرنشینی را در ایران طی دوره موردنظر نشـان می‌دهـد. بـر ایـن اساس جمعیت طی این دوره از حدود ٦۱ میلیون نفر به حدود ۸۰ میلیون نفر رسـیده اسـت و نـرخ شهرنشـینی از حدود ٦۲ درصد به حدود ۷٤ درصد رسیده است.



شکل ۱- روند جمعیت در ایران طی سال‌های ۱۳۷٦-۱۳۹٥ به میلیون نفر.

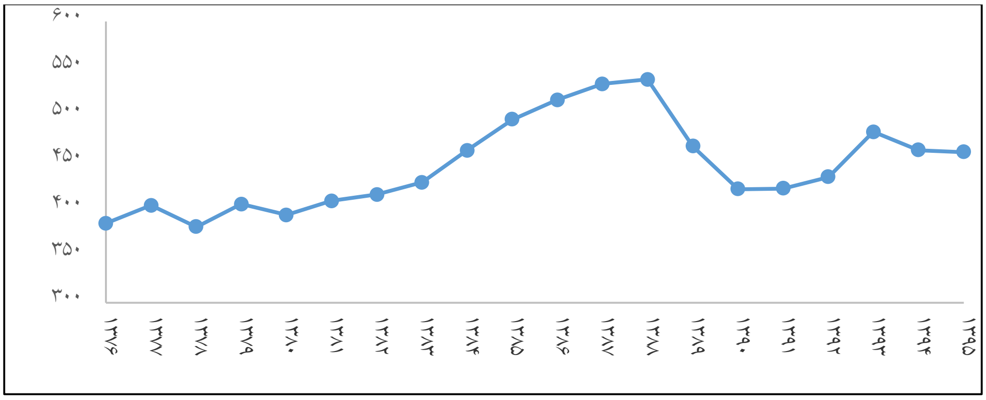
(منبع: سالنامه آماری ایران، ۱۳۷٦-۱۳۹٥)



شکل ۲- روند نرخ شهرنشینی در ایران طی سال‌های ۱۳۷٦-۱۳۹٥.

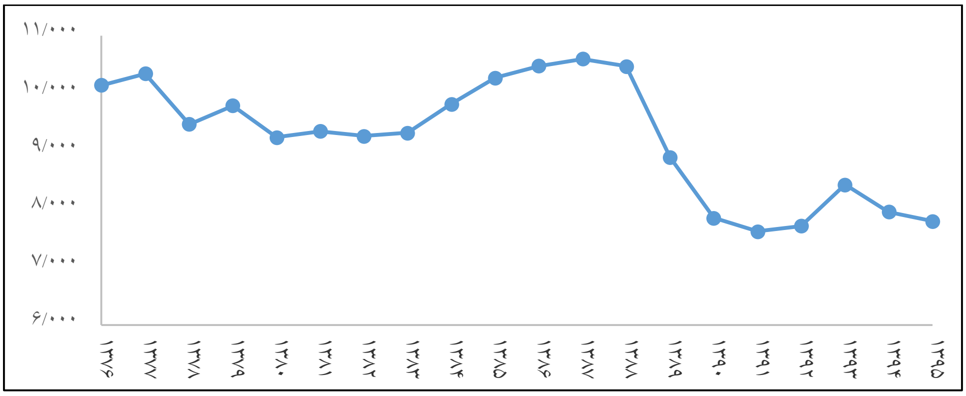
(منبع: سالنامه آماری ایران، ۱۳۷٦-۱۳۹٥)

طی دوره ۱۳۷٦-۱۳۹٥ مصرف انرژی فسیلی در ایران افزایش یافته است (شکل ۳). تغییر شدت انرژی جمعیت شهری در شکل (٤) نشان داده شده است. مصرف انرژی و شدت انرژی در برخی سال‌ها کاهش (به علت افزایش نسبتاً کم‌مصرف انرژی به جمعیت شهری) و در برخی سال‌ها افزایش‌یافته است. کاهش مصرف و شدت انرژی می‌تواند به معنی استفاده کاراتر انرژی تفسیر شود. زیرا مصرف انرژی به ازای هر واحد جمعیت شهری کاهش یافته است. همچنین این امر ممکن است به دلیل تغییر قیمت حامل‌های انرژی فسیلی و استفاده بهینه از آن باشد. با توجه به افزایش مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسید کربن توسط کل اقتصاد افزایش یافته است (شکل ٥). شدت انتشار کربن در شکل (٦) مشخص می‌کند که نسبت انتشار کربن به انرژی طی دوره مورد بررسی افزایش یافته است.



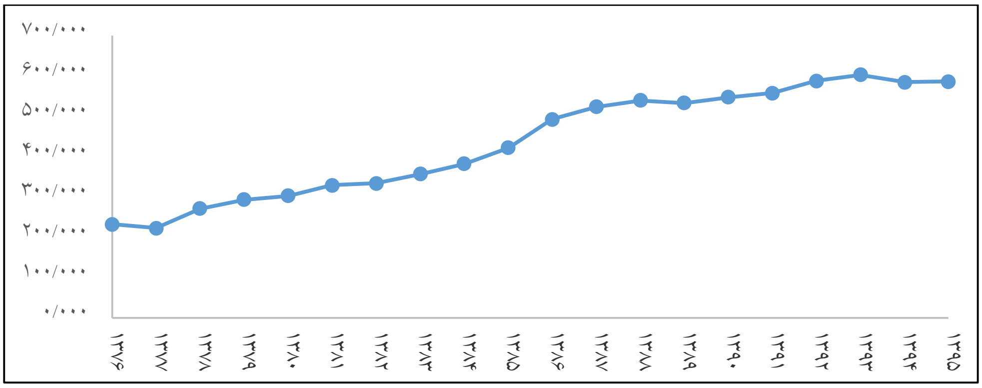
شکل ۳- مصرف انرژی فسیلی در ایران طی سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۹۵ (میلیون بشکه معادل نفت خام).

(منبع: ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۷۶-۱۳۹۵)



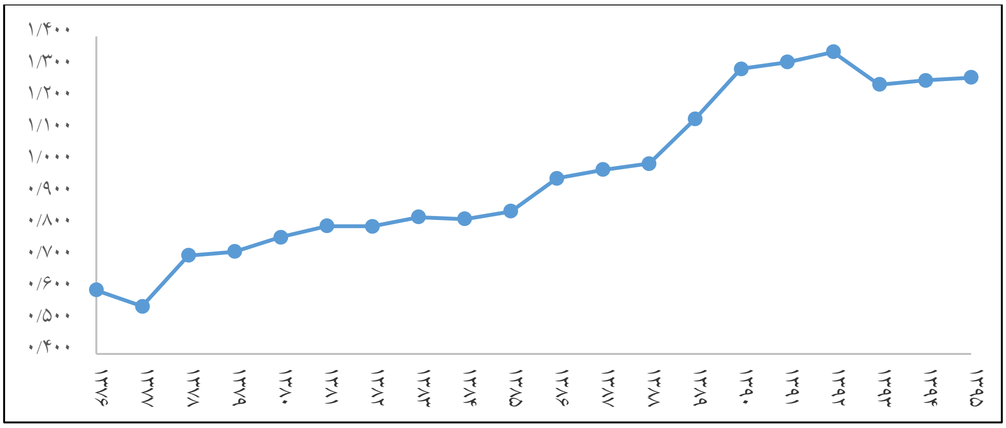
شکل ٤- شدت انرژی جمعیت شهری در ایران طی سال‌های ۱۳۷٦-۱۳۹۵.

(منبع: محاسبات تحقیق بر پایه سالنامه آماری ایران و ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۷٦-۱۳۹۵)



شکل ۵- انتشار دی‌اکسید کربن در ایران طی سال‌های ۱۳۷٦-۱۳۹۵ (میلیون تن کربن)

(منبع: ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۷٦-۱۳۹۵)



شکل ٦- شدت انتشار دی‌اکسید کربن در ایران طی سال‌های ۱۳۷٦-۱۳۹۵.

(منبع: محاسبات تحقیق بر پایه سالنامه آماری ایران و ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۷٦-۱۳۹۵)

۲-٤- سهم عوامل مؤثر بر انتشار CO2

در این بخش سهم هر عامل در تغییر انتشار CO_2 طی فاصله‌های زمانی تعیین شده و کل دوره بر پایه مدل مطرح شده بحث می‌شود.

جدول (۱) نشان می‌دهد که اثر شدت کربن مهم‌ترین عامل اثرگذار بر افزایش انتشار CO_2 می‌باشد. در سه زیر دوره اول ضریب آلودگی کربن مثبت است و این نشان می‌دهد که جایگزینی سوخت‌های پاک و فنّاوری‌های کاهش آلودگی در اقتصاد وجود ندارد. در دوره ۱۳۹۱-۱۳۹۵ ضریب آلودگی منفی شده که نشان دهنده تغییر ترکیب سوخت مصرفی است و می‌تواند به کاربرد سوخت‌های پاک و فنّاوری‌های کاهش آلودگی دلالت داشته باشد.

شدت انرژی یا اثر مصرف انرژی سرانه جمعیت شهری در برخی دوره‌ها مثبت و برخی منفی است. افزایش مصرف انرژی سرانه به این علت است که طی سال‌های مورد مطالعه مصرف انرژی کل خانوار شهری افزایش یافته است و این بیش از افزایش جمعیت بوده است. این اثر طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵ بزرگ‌ترین اثر را در افزایش انتشار دی‌اکسید کربن دارد. از طرف دیگر کاهش در شدت انرژی می‌تواند به علت افزایش کارایی انرژی باشد. همچنین، شدت انرژی منفی ممکن است به علت پذیرفتن فنّاوری‌های مصرفی و تولیدی جدید، کاهش کاربرد سوخت‌های فسیلی و یا تغییر قیمت انرژی فسیلی باشد. اثر این ضریب بر انتشار کل کربن در دوره سوم نسبت به سایر دوره‌ها بزرگ‌تر است.

اثر نرخ شهرنشینی بر انتشار کربن در همه دوره‌ها به‌جز دوره ۱۳۹۰-۱۳۸٦ مثبت است. قابل ذکر است که این نرخ اثر کمتری را نسبت به سایر عوامل بر تغییر انتشار کربن داشته است. انتشار آلاینده‌های ناشی از جمعیت عمدتاً از مصرف خانوارها از برق، گاز و بنزین نشأت می‌گیرد. تقاضا برای برق به‌طور فزاینده‌ای در حال رشد است و در

سال‌های اخیر سهم زیادی از تقاضای انرژی را به خود اختصاص داده است. افزایش نیاز به انرژی سرانه خانوارها همگام با افزایش جمعیت، افزایش بیشتر مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن را به دنبال دارد. البته در برخی دوره‌ها اثر منفی شدت کربن و شدت انرژی، اثر افزایش جمعیت و شهرنشینی را خنثی می‌کند.

جدول ۱- تجزیه عوامل انتشار CO_2 در ایران در دوره‌های زمانی (میلیون تن)

شاخص	ضریب آلودگی (CI)		اثر شدت انرژی جمعیت شهری (EI)		اثر شهرنشینی (UI)		اثر جمعیت (PE)	
دوره	درصد تغییر کل	مقدار شاخص	درصد تغییر کل	مقدار شاخص	درصد تغییر کل	مقدار شاخص	درصد تغییر کل	مقدار شاخص
۱۳۸۰-۱۳۷۶	۹۱/۴۸	۶۴/۶۴	−۳۵/۱۷	−۲۴/۸۳	۱۸/۴۰	۱۳	۲۵/۲۷	۱۷/۸۶
۱۳۸۵-۱۳۸۱	۲۲/۳۶	۲۰/۷۹	۳۷/۹۱	۳۵/۲۳	۱۵/۱۱	۱۴/۰۴	۲۴/۶	۲۲/۸۶
۱۳۹۰-۱۳۸۶	۲۹۶/۶۷	۱۶۲/۴۲	−۲۷۸/۲۲	−۱۵۲/۳۲	−۳۱/۸۴	−۱۷/۴۳	۴۹/۷۱	۲۷/۲۱
۱۳۹۵-۱۳۹۱	−۲۱/۲۹	−۷۳/۶	۴۵/۰۸	۱۳/۰۴	۳۲/۲۲	۹/۳۲	۹۶/۲۹	۲۷/۸۶

در تحلیل کلی طی دوره ۱۳۷۶-۱۳۹۵ اگرچه شدت کربن در برخی دوره‌ها منفی شده اما درکل دوره مورد بررسی مثبت است (۹۱٪)، و به عدم بهبود ترکیب سوخت پاک در کل دوره اشاره می‌کند (جدول ۲)؛ بنابراین شدت کربن مهم‌ترین عامل اثرگذار بر افزایش کربن طی دوره مورد نظر است.

شدت انرژی جمعیت شهری ۵۲,۱۲٪ کل انتشار CO_2 را طی کل دوره کاهش می‌دهد. شدت انرژی منفی (کارایی مثبت انرژی) یک عامل مهم در کاهش انتشار کربن است که به علت معیارهای پذیرفته شده صرفه‌جویی انرژی و یا به دلیل افزایش قیمت حامل‌های انرژی و کارایی مصرف انرژی قابل توجیه است.

طی سال‌های موردمطالعه سهم جمعیت شهری در جمعیت کل افزایش یافته است و به مثبت بودن اثر شهرنشینی و در نتیجه افزایش کربن منجر شده است. با این وجود، نرخ شهرنشینی تنها ۲۱ درصد افزایش انتشار کربن طی دوره موردبررسی را توضیح می‌دهد. افزایش جمعیت کل، عامل افزایش انتشار کربن می‌باشد و حدود ۳۸ درصد افزایش کربن به این عامل مربوط است.

به‌طورکلی، انرژی در ایران به میزان زیادی دارای یارانه است و عاملان اقتصادی به خاطر قیمت ارزان به استفاده بیش از حد انرژی می‌پردازند و این به عدم کارایی در مصرف انرژی منجر می‌شود.

جدول ۲- تجزیه کلی عوامل انتشار CO_2 در ایران (میلیون تن) طی ۱۳۷۶-۱۳۹۵

شاخص	ضریب آلودگی (CI)		اثر شدت انرژی (EI) جمعیت شهری		اثر شهرنشینی (UI)		اثر جمعیت (PE)	
	درصد تغییر کل	مقدار شاخص	درصد تغییر کل	مقدار شاخص	درصد تغییر کل	مقدار شاخص	درصد تغییر کل	مقدار شاخص
۱۳۷۶-۱۳۹۵	۹۱/۶۲	۲۲۶/۵۶	-۵۲/۱۲	-۱۲۸/۸۹	۲۱/۷۵	۵۳/۸	۳۸/۷٤	۹۵/۸۰

۵- نتیجه‌گیری

با رشد سریع فعالیت‌های صنعتی و شهرنشینی مصرف انواع مختلف انرژی، نقش مهمی را در اثرگذاری بر محیط زیست محلی و تغییر آب‌وهوای جهانی ایفا می‌کند. افزایش تخریب زیست‌محیطی در سطح محلی، ملی و جهانی نگرانی سیاست‌گذاران را به‌سوی آثار جانبی مصرف انرژی و رفاه اجتماعی مرتبط با آن جلب کرده است.

در این مطالعه از روش تجزیه کامل برای تحلیل عوامل اثرگذار بر تغییرات انتشار طی دوره ۱۳۷۶- ۱۳۹۵ استفاده شده است. این روش اطلاعات مفیدی را برای اعمال سیاست‌های مؤثر در کاهش کربن فراهم می‌نماید. نوآوری این پژوهش در بررسی اثر شهرنشینی در کنار عامل رشد جمعیت بر آلودگی هواست. درباره اثر شهرنشینی بر محیط زیست نظرات گوناگونی وجود دارد، یکی از دیدگاه‌ها شهرنشینی را عامل افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و تغییرات آب و هوایی می‌داند اما گروه دیگر بر این عقیده هستند که شهرنشینی کارایی و صرفه‌جویی انرژی را به همراه دارد و می‌تواند به کاهش آلودگی هوا بینجامد. نظرات متعادل‌تر دیگری نیز وجود دارند که تأثیر شهرنشینی بر آلودگی را بسته به شرایط مدیریتی و برنامه‌ریزی شهرها و میزان توسعه‌یافتگی آنان متفاوت قلمداد می‌کنند.

نتایج این پژوهش مشابه مطالعه «لی»[1] (۲۰۱۵) و فریدزاد (۱۳۹٤) نشان می‌دهد اثر شدت کربن مهم‌ترین عامل اثرگذار بر افزایش انتشار کربن می‌باشد. این نشان می‌دهد که از سوخت‌های فسیلی و آلاینده به میزان زیادی استفاده می‌شود و جایگزینی سوخت‌های پاک و فناوری‌های کاهش آلودگی در اقتصاد وجود ندارد. طی دوره موردبررسی شدت مصرف انرژی جمعیت شهری، کاهش یافته است. کاهش در شدت انرژی می‌تواند به علت افزایش کارایی انرژی، پذیرفتن فناوری‌های مصرفی و تولیدی جدید، کاهش کاربرد سوخت‌های فسیلی و یا تغییر قیمت انرژی فسیلی باشد. با وجود کاهش شدت مصرف انرژی جمعیت شهری، اما همچنان پتانسیل زیادی برای کاهش شدت انرژی با توجه به شکاف در فرآیند تولید، فنّاوری و سطح مدیریت وجود دارد.

1 Li

در کل دوره ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۵ هم جمعیت و هم تغییر شهرنشینی باعث افزایش انتشار دی‌اکسید کربن شده است. شهرنشینی در کل دوره ۵۲ درصد در تغییرات انتشار کربن مؤثر بوده است. هرچند در بین سال‌های ۱۳۸٦ تا ۱۳۹۰ شهرنشینی اثر کاهشی بر انتشار کربن هوا داشته است اما در سایر سال‌ها و در کل دوره اثر مثبت بر آن داشته است؛ بنابراین می‌توان گفت که گسترش شهرنشینی در ایران عاملی در افزایش آلودگی هواست و این با نظر کسانی که شهرنشینی را آسیب‌رسان به محیط زیست می‌دانند انطباق دارد. در مطالعات قبلی انجام‌شده در ایران کمتر به اثر این دو متغیر توجه شده است و بیشتر به اثر رشد اقتصادی و ساختار تولیدات جامعه توجه شده است.

هر چند همان‌طور که در بخش مبانی نظری پرداخته شد ممکن عواملی چون الگوی کالبدی شهرها، کیفیت مدیریت شهرها و... تعدیلگر رابطه بین شهرنشینی و آلودگی باشند و برای بررسی این‌که کدام نظریه بیشتر صادق است باید تحقیقات متعددی در شرایط مختلف شهرسازی و شهرنشینی انجام شود؛ زیرا ممکن است در صورت پیاده شدن الگوی خاصی از شهرسازی یا تغییر در فناوری حمل‌ونقل و تولید، تأثیر شهر بر آلودگی متفاوت گردد.

با توجه به نتایج، استراتژی‌های زیر می‌تواند برای کاهش کربن در راستای توسعه پایدار موردتوجه قرار گیرد:

- کاهش ضریب آلودگی از طریق تغییر سوخت و انتقال به استفاده از انرژی‌های پاک‌تر مانند گاز طبیعی یا فنّاوری پاکسازی سوخت.
- اجرای طرح‌های بهینه‌سازی و کمک به اصلاح و ارتقای فن‌آوری وسایل، تجهیزات کارخانه‌ها و سامانه‌های مصرف‌کننده انرژی.
- از نظر جمعیت، هدایت مصرف خانوار به سمت کاهش مصرف انرژی و بهبود الگوی مصرف سوخت و توانمندسازی مردم در کاربرد فن‌آوری‌های کم‌مصرف از طریق سیاست‌های قیمتی و تشویقی

کتابنامه

آسافو، آجایی، جان؛ ۱۳۸۱. اقتصاد محیط زیست برای غیر اقتصاددانان. ترجمه سیاوش دهقانیان و زکریا فرج‌زاده، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد.

ترازنامه انرژی؛ ۱۳۷٦–۱۳۹۵. وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی.

سالنامه آماری ایران؛ ۱۳۷٦–۱۳۹۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مرکز آمار ایران.

فریدزاد، علی؛ ۱۳۹٤. تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی‌بر ایران با استفاده از روش شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا با تاکید بر رویکرد زمانی دو دوره‌ای و زنجیره‌ای. پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، سال چهارم، شماره ۱۵، ۸۷–۱۱۷.

فطرس، محمد حسن؛ برزگر، حمیده؛ ۱۳۹۲. اثرات برخی متغیرهای کلان بر انتشار گاز دی اکسید کربن در آسیای مرکزی و ایران (۱۹۹۵ تا ۲۰۰۷). پژوهشنامه اقتصاد کلان، سال ۸، شماره ۱٦، ۱٤۱–۱۵۸.

فطرس، محمدحسن؛ براتی، جواد؛ ۱۳۹۰. تجزیه انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی به بخش‌های اقتصادی

ایران؛ یک تحلیل تجزیه شاخص. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۸، شماره ۲۸، ۷۳–٤۹.

قدمی، مصطفی؛ عبداله وند، هادی؛ ۱۳۹۷. بررسی تأثیر سناریوهای ساختار فضایی شهر بر آلودگی هوا (نمونـه مـورد مطالعه: شهر تهران). مجله جغرافیا و توسعه فضای شهری، *سال۵، شماره۸*، ۲٦۱–۲۸۰.

لطفعلی پور، محمدرضا؛ فلاحی، محمدعلی؛ بستام، مرتضی؛۱۳۹۱. بررسی مسائل زیست محیطی و پیش‌بینـی انتشـار دی‌اکسید کربن در اقتصاد ایران. فصلنامه علمی -پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی در ایران، سال ۱، شماره ۳، ۱۰۹–۸۱.

لطفعلی‌پور، محمدرضا؛ آشنا، ملیحه؛ ۱۳۸۹. بررسی عوامل مؤثر بر تغییر انتشـار دی اکسـید کـربن در اقتصـاد ایـران. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۷، شماره ۲٤، ۱٤۵–۱۲۱.

میلر، جی. تی؛ ۱۳۹۲. زیستن در محیط زیست. ترجمه مجید مخدوم، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهاردهم.

نصرالهی، زهرا؛ غفاری گولک، مرضیه؛ ۱۳۸۹. آلودگی هوا و عوامل مؤثر بر آن. فصلنامه پژوهش‌های اقتصـادی، سـال ۱۰، شماره ۳، ۹۵–۷۵.

Ang, B.W., & Zhang, F.Q., 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental analysis. *Energy*, 25, 1149–1176.

Ang, B.W., Xu, X.Y. & Su, B., 2015. Multi-Country Comparisons of Energy Performance: The Index Decomposition Analysis Approach. *Energy Economics*, 47, 68-76

Avtar, R., Tripath, S., Aggarwal, A., & Kumar, P., 2019. Population–Urbanization–Energy Nexus: A Review. Resources, 8, 136; doi:10.3390/resources8030136.

Chang, Y.F., Lewis, C., & Lin, S.J., 2008. Comprehensive evaluation of industrial CO2 emission (1989–2004) in Taiwan by input–output structural decomposition. *Energy Policy*, 36, 2471–2480.

Fan, Y., Liu, L.C., Wu, G., Tsai, H.T., Wei, & Y.M., 2007. Changes in carbon intensity in China: empirical findings from 1980–2003. *Ecological Economics*, 62, 683–691.

Fan. F., & Lei,Y., 2017. Index Decomposition Analysis on Factors Affecting Energy-Related Carbon Dioxide Emissions from Residential Consumption in Beijing. Mathematical Problems in Engineering,Volume Article ID 4963907, 14 pages.

Gasimli, O., Ihtisham U.H., Gamage, SKN., Shihadeh, F., Rajapakshe, PSK., & Shafiq, M., 2019. Energy, Trade, Urbanization and Environmental Degradation Nexus in Sri Lanka: Bounds Testing Approach. *Energies*, 12*(9), 1655; https://doi.org/10.3390/en12091655.*

Grossman, G.M., Krueger, A.B., 1992. Environmental impacts of a North American free trade agreement, *Working Paper*, 3914, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.

Guan, D.B., Hubacek, K., Weber, C.L., Peters, G.P., & Reiner, D.M., 2008. The drivers of Chinese CO2 emission from1980 to 2030. *Global Environmental Change*, 18, 626–634.

Lee, K., & Oh, W.K., 2006. Analysis of CO2 emission in APEC countries: a time-series and a cross sectional decomposition using the log mean Divisia method. *Energy Policy*, No. 34, pp.2779–2787.

Li, W. Shen, Y.B., & Zhang, HX., 2015. A factor decomposition on China's carbon emission from 1997 to 2012 based on IPAT-LMDI model. *Mathematical Problems in Engineering*, 5, 1-14.

Liang, W., & Yang, M., 2019. Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 1–9.

Liaskas, K., Mavrotas, G., Mandaraka, M., & Diakoulaki, D., 2000. Decomposition of industrial

CO_2 emission: the case of European Union. *Energy Economics*, 22, 383–394.

Liu, L.C., Fan, Y., Wu, G., & Wei, Y.M., 2007. Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO_2 emission from final fuel use: an empirical analysis, *Energy Policy*, 35, 5892–5900.

Nag, B., & Parikh, J., 2000. Indicators of carbon emission intensity from commercial energy use in India. *Energy Economics*, 22, 441–461.

Nazeer, M., Uzma, T., & Shaista, S., 2018. Environmental Pollution and Sustainable Development in Developing Countries. *The Pakistan Development Review*, 55:4, 589–604.

Paul, S., & Bhattacharya, R.N., 2004. CO_2 emission from energy use in India: a decomposition analysis. *Energy Policy*, 32, 585–593.

Salim, R., Rafiq, S., & Shafiei, S., 2017. Urbanization, energy consumption and pollutant emission in Asian developing economies: an empirical analysis. ADBI *Working Paper Series Asian Development Bank Institute.*

Sari, R., & Soytas, U., 2004. Disaggregate Energy Consumption, Employment, and Income in Turkey. *Energy Economics*, 26, 335-344.

Sun, J.W., 1998. Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model. *Energy economics*, 20, 85–100.

Wang W.W., Liu R, Zhang, M. & Li, H.N., 2013. Decomposing the Decoupling of Energy Related CO_2 Emissions and Economic Growth in Jiangsu Province. *Energy Sustainable Development*, 17, 62-71

Wang, C., Chen, J.N., & Zou, J., 2005. Decomposition of energy-related CO_2 emission in China: 1957–2000. *Energy*, 30, 73–83.

Wang, S., Zhao, T., Zheng, H., & Hu, J., 2017. The STIRPAT analysis on carbon emission in Chinese cities: an asymmetric laplace distribution mixture model. *Sustainability*, 9 (12), 2237.

Wietze, L., 2006. Decomposition of CO_2 emission over 1980–2003 in Turkey. *Energy Policy*, 34, 1841–1852.

World Bank., 2014. World Development Indicators. Washington, D.C.: The World Bank (producer and distributor). http:// data. worldbank. org/ data- catalog/ world- development- indicators

Wu, L.b., Kaneko, S., & Matsuoka, S., 2005. Driving forces behind the stagnancy of China's energy-related CO_2 emission from 1996 to 1999: the relative importance of structural change, intensity change and scale change. *Energy Policy*, 33, 319–329.

York, R., Rosa, E. & Dietz, T., 2003.STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46, 351-365.

Zhang, F.Q., & Ang, B.W., 2001. Methodological issues in cross-country/ region decomposition of energy and environmental indicators, *Energy Economics*, 23, 179–190.